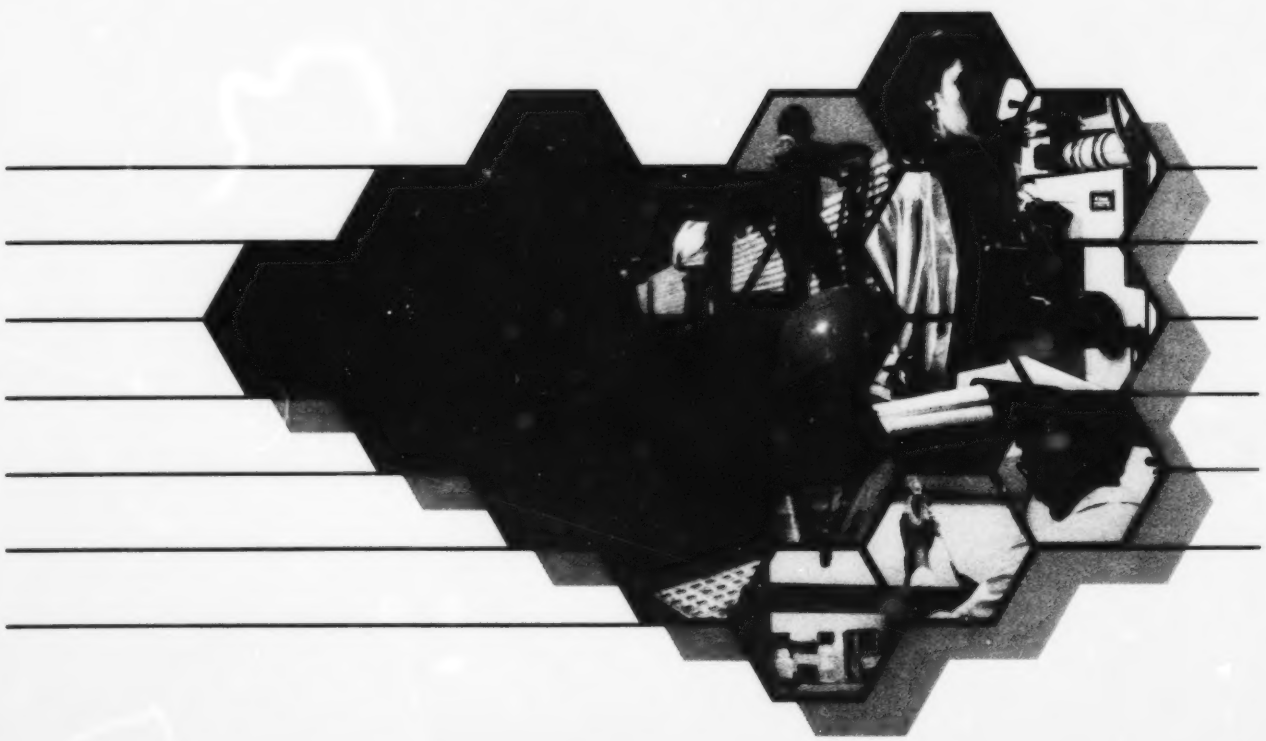
**IRSST**
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

# Étude de l'exposition aux vibrations globales du corps dans des véhicules du service de la voirie

**Paul-Émile Boileau**
**Henri Scory**
**Jérôme Boutin**

**Avril 1988**

## Étude/ Bilan de connaissances



Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2e trimestre 1988
ISBN: 2-551-06877-0
ISSN: 0820-8395

ÉTUDE/BILAN DE CONNAISSANCE

# ÉTUDE DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS DANS DES VÉHICULES DU SERVICE DE LA VOIRIE

Paul-Emile Boileau
Henri Scory
Jérôme Boutin

"Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs."

© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 1988

90-02338/


## SOMMAIRE

Les véhicules du service de la voirie tels que les niveleuses et les camions de chantier (6 et 10 roues) exposent les conducteurs à des vibrations mécaniques plus ou moins importantes causées par le déplacement des véhicules sur un sol irrégulier. Dépendant de son intensité, la nuisance vibratoire peut affecter le confort, la capacité de travail, voire à long terme la santé du conducteur (e.g. pathologies lombaires). Beaucoup de travailleurs exposés aux vibrations globales du corps se plaignent de maux de dos dont ils attribuent souvent la cause aux fortes secousses ou impacts qu'ils ont à subir dans ces véhicules. Pour ceux-ci, la durée d'exposition quotidienne peut souvent atteindre 8 heures et plus.

Afin de remédier au problème des vibrations dans les véhicules de la voirie, l'employeur en collaboration avec les travailleurs ont souvent misé sur l'essai de sièges à suspension pour les adapter à leurs véhicules. Cependant, aucune règle précise n'existe pour faciliter le choix du siège le mieux adapté sans que des données soient disponibles pour caractériser l'environnement vibratoire. De plus, les renseignements donnés par les fabricants de sièges peuvent souvent porter à confusion, ceux-ci fournissant souvent des spécifications techniques de sièges applicables à des types de vibrations peu représentatives de celles retrouvées en situations réelles de travail. D'autre part, le mauvais ajustement du siège par le conducteur, qu'il soit fait inconsciemment ou non, mène souvent à une perte considérable de l'efficacité d'atténuation du siège, voire même à une amplification des niveaux de vibrations perçus par le conducteur. Le problème de choix du siège est d'autant plus compliqué qu'un siège qui subjectivement apparaît confortable pour le conducteur peut, du point de vue des vibrations, avoir une efficacité d'atténuation très limitée.

Cette étude présente des résultats de mesures de vibrations globales du corps effectuées sur trois niveleuses et trois camions de chantier utilisés par le service de la voirie. On a effectué ces mesures dans des situations réelles de travail de façon à évaluer l'importance des expositions pour les conducteurs et à estimer l'efficacité d'atténuation des différents sièges à suspension verticale utilisés dans ces véhicules.

Les résultats obtenus démontrent que la "dose" d'exposition aux vibrations peut être particulièrement éprouvante dans les camions 10 roues et 6 roues, spécialement pour les vibrations

verticales lorsque les camions sont sans chargement. Ceci est également le cas pour les niveleuses, bien qu'à un degré beaucoup moindre. Dans ce dernier cas, l'utilisation de la lame contribue à rendre les niveaux de vibrations verticales beaucoup moins élevés que lors du roulement du véhicule sans utiliser la lame.

On note des différences au niveau de l'efficacité d'atténuation des vibrations entre les divers types de siège installés sur les véhicules. Pour les niveleuses, on observe à partir des courbes de transmissibilité qu'aucun des sièges à suspension mécanique dont elles sont munies ne permet d'atténuer réellement les composantes fréquentielles dominantes des vibrations transmises aux sièges. Ceci est dû au fait que la fréquence de coupure de ces sièges est supérieure à la fréquence dominante à atténuer, causant ainsi une amplification des vibrations à la fréquence même à laquelle la dose d'exposition doit être calculée. Ainsi donc, la "dose" d'exposition mesurée au siège devient supérieure à celle mesurée au plancher tandis que la transmissibilité globale du siège paraît indiquer que le siège atténue, dans son ensemble, les vibrations.

Afin de permettre l'identification du siège le mieux adapté pour les cas étudiés, on a mis au point une méthode permettant d'évaluer la fraction de la "dose" d'exposition imputable au siège lui-même. Les résultats générés pour les niveleuses permettent d'identifier deux types de siège parmi les trois sièges à suspension mécanique étudiés qui semblent être les plus adéquats pour diminuer les expositions en temps normal. Comme les "doses" d'exposition ne peuvent pas être jugées extrêmes dans ces véhicules, on recommande l'utilisation d'un modèle particulier de ces sièges muni d'un dispositif de réglage comportant un indicateur numérique, ajustable selon le poids du conducteur. Pour des cas plus sévères de vibrations, on aurait avantage à considérer une suspension pneumatique pour le siège.

Les résultats obtenus pour les camions permettent d'identifier un siège à suspension pneumatique satisfaisant, autant pour les camions 10 roues que 6 roues. Bien qu'il ne permet pas nécessairement de réduire les niveaux de vibrations en deçà des limites de la norme ISO 2631/1, il est permis de croire qu'il peut tout au moins contribuer à réduire les niveaux aux fréquences dominantes des vibrations transmises, réduisant ainsi la dose d'exposition pour les conducteurs.

# TABLE DES MATIÈRES


| SECTION | | PAGE |
|---|---|---|
| 1.- | INTRODUCTION ..... | 6 |
| 2.- | PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES SUSPENSIONS DE SIÈGES .... | 7 |
| 3.- | MÉTHODOLOGIE ..... | 9 |
| 4.- | RÉSULTATS ..... | 10 |
| | a) Les niveleuses ..... | 10 |
| | b) Les camions de chantier ..... | 15 |
| 5.- | CONCLUSION ..... | 16 |
| | REMERCIEMENTS ..... | 17 |
| | BIBLIOGRAPHIE ..... | 18 |

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

**FIGURE** **PAGE**

1- Spectre en fréquences des vibrations verticales (z) enregistrées à l'interface opérateur-siège sur une niveleuse (79-0500) se déplaçant sans lame ...../22

2- Courbes de transmissibilité des vibrations verticales en fonction de la fréquence pour les sièges des niveleuses (a) 75-0529, (b) 80-0524 et (c) 79-0500. Condition: sans lame./23

3- Courbes de transmissibilité des vibrations verticales en fonction de la fréquence pour les sièges des camions (a) 85-3088, (b) 79-3265 et (c) 81-3124. Condition d'opération: sans chargement ...../26

**TABLEAU**

1A Caractéristiques physiques des sièges dont étaient munis les niveleuses faisant partie de l'étude ...../19

1B Caractéristiques physiques des sièges dont étaient munis les camions faisant partie de l'étude ...../20

2- Sommaire des résultats des mesures de l'exposition aux vibrations globales du corps dans des niveleuses selon les directions x (longitudinale), y (latérale) et z (verticale)/21

3- Estimation de la fraction de dose d'exposition attribuable aux sièges à suspension verticale installés dans les niveleuses/24

4- Sommaire des résultats des mesures de l'exposition aux vibrations globales du corps dans des camions de chantier selon les directions x (longitudinale), y (latérale) et z (verticale) ...../25

5- Estimation de la fraction de dose d'exposition attribuable aux sièges à suspension verticale installés dans les camions de chantiers ...../27

## 1.0 INTRODUCTION

Les véhicules du service de la voirie tels que les niveleuses et les camions de chantier (6 et 10 roues) exposent les conducteurs à des vibrations mécaniques plus ou moins importantes causées par le déplacement des véhicules sur un sol irrégulier. Dépendant de son intensité, la nuisance vibratoire peut affecter le confort, la capacité de travail, voire à long terme la santé du conducteur (e.g. pathologies lombaires) [1].

Au Québec, il n'est pas rare de retrouver chez les employés du Ministère des Transports, des conducteurs de véhicules ayant une ancienneté de vingt ans et plus. Beaucoup de travailleurs exposés aux vibrations globales du corps se plaignent de maux de dos dont ils attribuent souvent la cause aux fortes secousses ou impacts qu'ils ont à subir dans ces véhicules. Pour ceux-ci, la durée d'exposition quotidienne peut souvent atteindre 8 heures et plus.

Afin de remédier au problème des vibrations dans ces véhicules, l'employeur en collaboration avec les travailleurs ont souvent misé sur l'essai de sièges à suspension pour les adapter à leurs véhicules. Cependant, aucune règle précise n'existe pour faciliter le choix du siège le mieux adapté sans que des données soient disponibles pour caractériser l'environnement vibratoire. De plus, les renseignements donnés par les fabricants de sièges peuvent souvent porter à confusion, ceux-ci fournissant souvent des spécifications techniques de sièges applicables à des types de vibrations peu représentatives de celles retrouvées en situations réelles de travail. D'autre part, le mauvais ajustement du siège par le conducteur, qu'il soit fait inconsciemment ou non, mène souvent à une perte considérable de l'efficacité d'atténuation du siège, voire même à une amplification des niveaux de vibrations perçus par le conducteur. Le problème de choix du siège est d'autant plus compliqué qu'un siège qui subjectivement apparaît confortable pour le conducteur peut, du point de vue des vibrations, avoir une efficacité d'atténuation très limitée.

Cette étude présente des résultats de mesures de vibrations globales du corps effectuées sur trois niveleuses et trois camions de chantier utilisés par le service de la voirie. Ces mesures furent effectuées dans des situations réelles de travail de façon à évaluer l'importance des expositions pour les conducteurs et à estimer l'efficacité d'atténuation des différents sièges à suspension verticale utilisés dans ces véhicules.

## 2.0 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES SUSPENSIONS DE SIÈGES

La suspension d'un siège, qu'elle soit mécanique, pneumatique, hydraulique ou une combinaison de ces dernières, agit avant tout comme un filtre dont l'effet d'atténuation recherché pour les vibrations apparaît à des fréquences supérieures à une fréquence de coupure. Lorsque la fréquence d'excitation correspond à la fréquence de coupure de la suspension, le siège transmet 100 % des vibrations à l'entrée du système et se comporte donc comme un transmetteur de vibrations.

À des fréquences d'excitation inférieures à la fréquence de coupure, le siège agit généralement comme un amplificateur de vibrations, l'amplification maximale apparaissant à la fréquence de résonnance de la suspension. Il importe donc, pour qu'un siège soit efficace, que sa fréquence de coupure soit inférieure aux fréquences dominantes à atténuer.

De façon générale, la suspension d'un siège comporte 4 types d'éléments [2,3]: un dispositif de guidage appelé cinématique permettant le débattement du siège par rapport à ses points de fixation, un ou des éléments élastiques tels que ressorts (mécaniques ou pneumatiques), un ou des amortisseurs pour dissiper l'énergie et enfin des dispositifs de réglage pour adapter le siège à des individus ayant des caractéristiques morphologiques différentes (e.g. poids). Le siège est complété par une sellerie qui doit contribuer au maintien postural. Les coussins comportent

généralement des mousses viscoélastiques qui possèdent leurs propres caractéristiques dynamiques, d'où l'importance de bien les choisir pour éviter de produire des effets qui pourraient interférer avec celles de la suspension elle-même.

Le choix d'un siège pour un besoin spécifique doit tenir compte de deux facteurs principaux: le contenu en fréquences des vibrations à atténuer ainsi que l'espace (particulièrement la hauteur) disponible pour permettre l'installation du siège. L'un des besoins va à l'encontre de l'autre puisque l'absorption de vibrations de basses fréquences (1 à 5 Hz environ) telles qu'on les rencontre sur les engins lourds montés sur pneumatiques, requiert une suspension à grand débattement ou course. Généralement, la course verticale ne devrait pas dépasser 100 mm pour ne pas nuire à l'atteinte et au contrôle des commandes du véhicule ainsi qu'à la visibilité [4]. Dans des cas extrêmes, la disponibilité insuffisante d'un encombrement adéquat pourrait rendre très difficile, voire même impossible d'équiper le véhicule d'un siège suspendu adéquat.

Il existe, à quelques exceptions près, sur la plupart des sièges suspendus verticalement disponibles sur le marché, un réglage permettant à l'utilisateur de fixer lui-même la raideur de la suspension. Pour les sièges pneumatiques, ce réglage est basé sur l'optimisation de la hauteur du siège lorsque ce dernier est contraint statiquement par le poids du conducteur. Ainsi, la raideur peut être augmentée pour un conducteur lourd et diminuée pour un conducteur plus léger, de façon à ce que dans tous les cas, la fréquence de coupure du siège demeure la même. Cependant, dans plusieurs cas où le déplacement relatif du siège pourrait être considéré excessif par l'opérateur, ce dernier a souvent tendance à raidir la suspension. Pour un conducteur d'un certain poids, ceci a pour effet d'augmenter la fréquence de coupure du siège et de réduire considérablement l'efficacité d'atténuation du siège, voire même à amplifier les vibrations aux basses fréquences.

Enfin, plusieurs types de sièges à suspension existent sur le marché. Plusieurs comportent un isolateur horizontal (avant-arrière) de vibrations mais la plupart agissent en direction verticale seulement. Certaines versions d'un même siège sont disponibles avec une suspension mécanique ou une suspension pneumatique. Cette dernière a l'avantage de procurer une fréquence de coupure généralement plus basse (inférieure à 2 Hz) que la première, cependant, son installation nécessite qu'une source d'énergie pneumatique soit disponible, ce qui n'est pas le cas dans tous les véhicules.

## 3.0 MÉTHODOLOGIE

On a effectué des mesures de vibrations globales du corps sur trois niveleuses, deux camions de chantier 10 roues et un camion 6 roues selon la norme de mesure ISO 2631/1 [5]. Dans tous les cas, les véhicules étaient munis d'un siège à suspension verticale, ceux-ci étant de type pneumatique pour les camions 10 roues. Les tableaux 1A et 1B présentent quelques caractéristiques physiques des sièges installés sur les différents véhicules ainsi qu'une appréciation générale de ces sièges découlant d'une enquête effectuée auprès des conducteurs par le Ministère des Transports [6].

Pour les niveleuses, on a effectué les mesures dans deux conditions d'opération, notamment lorsque la lame était en contact avec le sol sur une route secondaire et lorsque la niveleuse roulait sur la même route à une vitesse d'environ 50 km/h sans utiliser la lame.

Pour les camions, les tests consistaient à mesurer les vibrations lorsque ceux-ci transportaient un chargement et lorsqu'ils étaient à vide. Dans les deux conditions, les camions roulaient sur la même route secondaire à une vitesse moyenne variant entre 70 et 80 km/h.

Lors des essais, les sièges devaient, dans la mesure du possible, avoir été correctement ajustés par le conducteur pour correspondre à la hauteur optimale du siège en fonction du poids du conducteur. Dans tous les cas, on a mesuré les vibrations à l'interface opérateur-siège dans les directions x (avant-arrière), y (latérale) et z (verticale) ainsi qu'à un point au plancher sous le siège en direction verticale (z).

On a utilisé un système de télémesure pour faire l'acquisition des données. Le poste de réception des signaux était quant à lui stationnaire. Les spécifications de ce système ainsi que celui utilisé pour l'analyse des données sont décrites dans [7]. Pour tous les véhicules mesurés dans chacune des deux conditions d'opération, la durée minimale d'enregistrement des signaux a été de 3 minutes.

## 4.0 RÉSULTATS

a) Les niveleuses

Le tableau 2 présente un sommaire des résultats obtenus sur les niveleuses. Les valeurs globales d'accélération $a_w$ des vibrations pondérées représentent, pour chacun des axes mesurés, l'énergie vibratoire totale cumulée entre 1 et 80 Hz une fois la pondération appliquée pour tenir compte des différences de sensibilité des individus en fonction des fréquences des vibrations.

Le facteur de crête, $f_c$, indique quant à lui le degré impulsionnel des vibrations, caractérisant ainsi les chocs subis par l'opérateur. Par définition, le facteur de crête est obtenu en faisant le rapport du niveau d'accélération crête au niveau d'accélération efficace ($a_{rms}$) à partir du signal de vibrations pondéré en fréquences. Ce rapport est généralement établi pour des segments de signaux vibratoires évoluant sur une période de temps fixe, normalement 1 minute. Il est sous-entendu dans la norme ISO 2631/1 qu'un facteur de crête de 6 représente le seuil au delà duquel les vibrations pourraient être considérées comme étant largement de type impulsionnel.

La "dose" apparaissant dans le tableau 2 représente en soi un rapport de temps d'exposition exprimé en pourcentage. Prenant 6 heures comme étant la durée quotidienne moyenne d'exposition sur les véhicules, la dose est obtenue, en exprimant en pourcentage le rapport de la durée réelle d'exposition à la durée requise pour que la limite proposée dans la norme ISO 2631/1 soit atteinte à la fréquence dominante des vibrations pondérées. Cette fréquence est indiquée dans le tableau 2 sous la valeur de la dose. Cette dernière est calculée par rapport à la limite à la capacité réduite par fatigue pour une durée quotidienne d'exposition de 6 heures.

Enfin, la transmissibilité globale TR représente le pourcentage des vibrations globales enregistrées sur le plancher des véhicules qui sont actuellement transmises sur le siège du conducteur. La transmissibilité globale est donc une mesure de l'efficacité d'atténuation de l'énergie vibratoire globale des sièges puisque moins la transmissibilité est grande, plus le siège peut être considéré comme un bon absorbeur de vibrations. Puisque la direction verticale est la seule selon laquelle la ligne d'action des vibrations est directe, la transmissibilité ne peut être présentée que dans cette direction.

Les valeurs apparaissant dans le tableau 2 représentent des valeurs moyennes de la même quantité mesurée, établie en utilisant une série de segments de vibrations dont la durée pour chacun pouvait varier entre 40 et 60 secondes. À quelques exceptions près, la somme de la durée des segments sur laquelle la moyenne est établie atteint un minimum de 3 minutes. C'est pourquoi un écart-type est indiqué entre parenthèses auprès de chacune des valeurs du tableau. La figure 1 présente un exemple d'un spectre en fréquences des vibrations enregistrées sur une niveleuse. Ce spectre particulier représente la moyenne de 5 spectres pour chacun desquels la période d'intégration est de 44 secondes. Comme on note des variations des niveaux vibratoires d'un spectre à l'autre, l'incertitude associée au spectre moyen est donc représentée par les courbes obtenues à partir de l'écart-type calculé sur les niveaux à chacune des fréquences. À certaines fréquences, la variation des amplitudes d'un spectre à l'autre peut être considé-

rablement élevée puisque les facteurs susceptibles d'influencer les niveaux de vibrations ne peuvent pas être contrôlés de façon absolue. Ceci explique donc les larges valeurs d'écart-type associées aux résultats présentés dans le tableau 2.

Dans un premier temps, les données du tableau 2 indiquent que c'est en direction verticale (z) que les niveaux de vibrations sont les plus sévères (i.e. approximativement deux fois plus élevés que pour les axes x et y). De plus, les niveaux semblent être généralement moins élevés dans toutes les directions lorsque la lame de la niveleuse est en contact avec le sol. Ceci est présumément dû au fait qu'en pareil cas, la vitesse d'opération de la niveleuse est normalement beaucoup moindre que lorsque la lame n'est pas utilisée, la niveleuse devant être en présence de forces additionnelles opposant le mouvement.

Une fois pondérés en fréquences, les spectres démontrent une dominance des vibrations aux fréquences contenues entre 1.3 et 3.2 Hz, indépendamment de la direction des mesures et de l'utilisation de la lame ou non. À quelques exceptions près, le facteur de crête se maintient à une valeur inférieure à 6, même en tenant compte de l'écart-type associée aux résultats. Ceci illustre en quelque sorte la tendance non ou quasi-impulsionnelle des vibrations mesurées.

Les niveleuses portant les numéros 75-0529 et 79-0500 sont celles pour lesquelles les niveaux de vibrations mesurés ne peuvent, dans toutes les directions, respecter la limite choisie pour 6 heures d'exposition. Ceci survient lorsque la lame n'est pas utilisée puisque dans le cas contraire, aucune surexposition ne peut être notée dans les trois directions mesurées. Ainsi donc la plus grande partie de l'exposition provient pour le travailleur alors qu'il a à se déplacer avec son véhicule pour se rendre aux endroits précis où il doit niveler le sol.

Bien que les valeurs de transmissibilité globale mesurées démontrent que les trois sièges de niveleuses évalués permettent, à différent degré, une certaine atténuation des vibrations globales mesurées au plancher, les doses d'exposition calculées sont particulièrement importantes pour le premier véhicule (75-0529, lame non utilisée), notamment pour les directions x et z. C'est également le cas pour le troisième véhicule (79-0500, lame non utilisée) pour lequel une légère surexposition est notée en direction verticale.

Or il s'avère que la transmissibilité globale à elle seule ne représente pas un indicateur très précis de l'efficacité réelle d'un siège, particulièrement lorsque les mesures sont effectuées en situations réelles de travail où les amplitudes et les fréquences d'excitation ne peuvent être contrôlées (i.e. variation des amplitudes excitatoires pour différentes bandes de fréquences). Dans certains cas, comme le véhicule peut transmettre plus de vibrations au plancher, le siège doit être en mesure d'absorber beaucoup plus de vibrations qu'un siège dont les niveaux à atténuer seraient de beaucoup inférieurs. Comme le siège est généralement considéré comme étant un système non-linéaire, il est donc difficile de prévoir quel pourrait être son comportement lorsque soumis à différents types d'excitations.

Dans le cas des niveleuses, on note que la dose d'exposition est généralement plus élevée au niveau du siège qu'au niveau du plancher. Comment donc expliquer que la transmissibilité globale soit pour tous les sièges inférieure à 100 %? Les courbes de transmissibilité par bandes de fréquences présentées dans la figure 2 comportent les éléments de réponse à cette question. D'après celles-ci, la fréquence de coupure mesurée en situations réelles de travail est généralement supérieure à 3.2 Hz, indiquant donc que le siège transmet intégralement ou avec amplification les vibrations de fréquences inférieures à 3.2 Hz. Comme la dose est calculée aux fréquences prédominantes contenues entre 1.6 et 3.2 Hz, il en résulte donc que la dose mesurée au siège est supérieure à celle mesurée au plancher. Par contre, comme les vibrations de fréquences supérieures à 3.2 Hz sont généralement atténuées par le

siège, le niveau global $a_w$ de vibrations cumulées entre 1 et 80 Hz se trouve ainsi réduit, produisant une transmissibilité globale inférieure à 100 %.

Les résultats obtenus démontrent en fait que les sièges utilisés ne sont pas réellement adaptés au problème des vibrations sur les niveleuses. Pour être proprement adaptés, les sièges devraient posséder une fréquence de coupure typiquement inférieure à 2.0 Hz.

Compte tenu que les doses d'exposition obtenues ne sont pas excessives dans la plupart des cas, il convient d'identifier le siège représentant le meilleur choix pour les niveleuses. Pour ce faire, il importe de pouvoir discerner, dans les doses de vibrations mesurées en direction verticale, quelle part de celles-ci sont attribuables au siège lui-même et d'essayer d'éliminer les effets provenant des différences au niveau des véhicules et des méthodes de conduite.

On a développé une méthode pour laquelle les résultats apparaissent dans le tableau 3. Cette méthode consiste à évaluer, à partir des mesures effectuées au plancher, une dose apparente d'exposition à la même fréquence dominante que celle à laquelle la dose d'exposition est calculée au siège. En soustrayant cette dose de la dose mesurée au siège, et en divisant par cette dernière, la fraction de la dose totale attribuable au siège peut être déterminée. Mathématiquement, ce rapport peut être exprimé par:

$$\text{Fraction}_{siege} = \frac{\text{Dose}_{siege} - \text{Dose}_{plancher}}{\text{Dose}_{siege}} \qquad (1)$$

où un signe positif indique une amplification par le siège et un signe négatif indique une atténuation. Ainsi donc, plus le rapport $\text{Fraction}_{siege}$ est petit et plus le siège permet une grande atténuation des vibrations.

Comme l'opération des niveleuses semble être la plus problématique lorsque la lame n'est pas utilisée, il apparaît, d'après les résultats du tableau 3, que les sièges équipant les véhicules 80-0524 et 79-0500 sont probablement les plus efficaces pour atténuer les vibrations sur ceux-ci. Le dernier mérite, à notre avis, une considération spéciale puisqu'il dispose d'un réglage numérique permettant d'ajuster exactement la rigidité du siège selon le poids spécifique du conducteur. Ceci permet d'éviter de faire un mauvais ajustement du siège étant susceptible de réduire l'efficacité d'atténuation de celui-ci.

b) Les camions de chantier

Les résultats obtenus sur les camions de chantier sont présentés dans le tableau 4. Comme pour les niveleuses, l'exposition est la plus importante en direction verticale, spécialement lorsque les camions ont à rouler sans chargement. De plus, les niveaux de vibrations mesurés dans les directions transversales (x et y) ne sont pas négligeables, spécialement pour ceux en direction longitudinale (i.e. axe x ou avant-arrière) qui mènent dans la majorité des cas, à une dose excédant la limite utilisée pour une durée d'exposition quotidienne de 6 heures. C'est également le cas pour les vibrations agissant en direction verticale.

La dominante des vibrations verticales pondérées apparaît à une fréquence de 2.0 Hz pour les camions 10 roues tandis que c'est 2.5 Hz pour le camion 6 roues. Pour les vibrations transversales, la dominante semble se produire à une fréquence comprise entre 1.0 et 5.0 Hz. Le facteur de crête est souvent supérieur à 6 lorsque l'écart-type sur la moyenne est pris en considération. Ceci indique le caractère impulsionnel des vibrations pour les trois directions x, y et z.

Les valeurs de transmissibilité globale TR indiquent quant à elles que globalement, les sièges parviennent à procurer une certaine atténuation des vibrations mesurées au plancher, bien qu'elle soit très mince pour le véhicule 6 roues. Par contre, les courbes de transmissibilité apparaissant dans la figure 3 démontrent que seul le siège du deuxième véhicule (79-3265) procure une fréquence de coupure approximativement égale à 2.0 Hz, capable de transmettre sans amplifier la fréquence dominante en direction verticale. Pour les autres véhicules, la fréquence de coupure du siège est supérieure à 2.0 Hz en situations réelles de travail, provoquant ainsi une amplification des vibrations aux fréquences dominantes.

Pour les raisons évoquées lors du traitement des résultats pour les niveleuses, on a calculé la fraction de la dose d'exposition imputable au siège pour les vibrations mesurées en direction verticale sur les camions. Les résultats apparaissent dans le tableau 5 et suggèrent que c'est le siège du deuxième camion (79-3265) qui est le plus efficace pour atténuer les vibrations dans ces véhicules. Ce résultat concorde bien avec la courbe de transmissibilité obtenue pour ce siège ainsi que les valeurs de transmissibilité globale rapportées. Compte tenu que sa fréquence de coupure soit particulièrement basse, ce siège pourrait d'autant plus être adapté au camion 6 roues (81-3124) pour lequel la fréquence dominante se trouve dans la zone d'atténuation du siège.

## 5.0 CONCLUSION

Les résultats obtenus permettent d'identifier les modèles de siège à suspension qui semblent les mieux adaptés, parmi ceux étudiés, pour réduire la dose d'exposition aux vibrations pour les conducteurs de véhicules utilisés par la voirie.

Pour les niveleuses, un siège à suspension mécanique possédant un réglage numérique ajustable représente la solution la plus prometteuse parmi celles étudiées pour réduire la dose d'exposition, surtout lorsque les niveaux de vibrations sont les plus

élevés, alors que la lame du véhicule n'est pas utilisée. Cependant, les résultats démontrent qu'un siège possédant une fréquence de coupure beaucoup plus basse que celle caractérisant les sièges utilisés serait idéalement beaucoup plus efficace pour ces véhicules. Ceci pourrait notamment être accompli par l'entremise d'un siège à suspension pneumatique. Par contre, comme les doses d'exposition ne sont généralement pas excessives sur les niveleuses, le siège proposé semble adéquat pour diminuer les risques d'atteinte à la santé et à la sécurité des travailleurs occasionnés par les vibrations.

Pour les camions, les résultats révèlent qu'un siège à suspension pneumatique a une performance supérieure par rapport aux autres sièges étudiés. La courbe de transmissibilité de ce siège indique qu'il pourrait s'adapter autant à un camion 6 roues qu'à un 10 roues. Cependant, compte tenu des doses d'exposition considérables notées lors de la conduite des camions sans chargement, il est peu probable que même le siège identifié puisse à lui seul maintenir les niveaux d'exposition aux vibrations en deçà de la limite utilisée dans cette étude.

## REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier le Ministère des Transports du Québec du District 84 à Amos, ainsi que ses employés qui ont bien voulu participer aux mesures nécessaires à la réalisation de cette étude. Aussi voulons nous remercier monsieur Daniel Gagné du Conseil régional de l'Abitibi-Témiscamingue qui s'est chargé de faire la planification pour les mesures sur le terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Seidel, H., Heide, R. 1986. Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. Int. Arch. Occup Environ Health 58: 1-26.

[2] De Longchamp, J.H. 1973. Operator Seat Design Problems in Reference to Theoretical Vibration Isolation and Pratical European Recommendations. Society of Automotive Engineers, no. 730824.

[3] Boulanger, P., Roure, L., Galmiche, J.-P. et al. 1983. Le siège du conducteur: son adaptation aux exigences de la conduite. Numéro spécial de Travail et Sécurité, I.N.R.S. 78-95.

[4] Rakeja, S. 1983. Computer Aided Dynamic Analysis and Optimal Design of Suspension Systems for Off-Road Tractors. Thèse de doctorat. Faculté de Génie et de Science Informatique. U. Concordia, Montréal, Qc 354 pp.

[5] Norme internationale ISO 2631/1. Estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 1: Spécifications générales. Première édition. 1985-05-15.

[6] Document interne préparé par M. Louis Dumoulin, Ministère des Transports, District 84, Amos. 1986. Évaluation des sièges de véhicules.

[7] Boileau, P.-E., Scory, H. 1988. Les lombalgies chez les conducteurs de débusqueuses. Étude des vibrations appliquées au corps entier dans les chantiers forestiers du Québec. (Sous presse) Archives des maladies professionnelles de médecine du travail et de sécurité sociale.

| VÉHICULES ET NUMÉROS D'IDENTIFICATION | CARACTÉRISTIQUES DE LA SUSPENSION DU SIÈGE | | | | CARACTÉRISTIQUES DE LA SELLERIE | ÉTAT GÉNÉRAL DU SIÈGE | APPRÉCIATION GÉNÉRALE DU CONDUCTEUR | RÉGLAGE POUR LE POIDS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TYPE | CINÉMATIQUE | ÉLÉMENT ÉLASTIQUE | ÉLÉMENT AMORTISSEUR | | | | |
| Niveleuses | | | | | | | | |
| 75-0529 | Mécanique | Parallélogramme sous le siège | Ressort hélicoïdal suivant l'axe du siège | Cylindre hydraulique à un angle d'environ 45° avec l'axe du siège | Coussin dont l'épaisseur est d'environ 100 mm, recouvert de vinyle | Bon | ---- | Pas disponible |
| 80-0524 | Mécanique | Système conventionnel en forme de ciseaux sous le siège | Barre de torsion | Cylindre hydraulique perpendiculaire à l'axe du siège | Coussin dont l'épaisseur est d'environ 70 mm, recouvert de vinyle | Mauvais | Mauvais | Par utilisation d'un levier |
| 79-0500 | Mécanique (Isringhausen) | Système à ciseaux opérés par une came | Ressort hélicoïdal à torsion perpendiculaire à l'axe du siège | Cylindre hydraulique à un angle d'environ 45° avec l'axe du siège | Coussin dont l'épaisseur est d'environ 100 mm, recouvert de tissu | Excellent | Excellent | Avec un cadran comme indicateur (limite 290 lbs) |

**TABLEAU 1A: CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES SIÈGES DONT ÉTAIENT MUNIS LES NIVELEUSES FAISANT PARTIE DE L'ÉTUDE**

| VÉHICULES ET NUMÉROS D'IDENTIFICATION | CARACTÉRISTIQUES DE LA SUSPENSION DU SIÈGE | | | | CARACTÉRISTIQUES DE LA SELLERIE | ÉTAT GÉNÉRAL DU SIÈGE | APPRÉCIATION GÉNÉRALE DU CONDUCTEUR | RÉGLAGE POUR LE POIDS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TYPE | CINÉMATIQUE | ÉLÉMENT ÉLASTIQUE | ÉLÉMENT AMORTISSEUR | | | | |
| Camions | | | | | | | | |
| 85-3088 (10 roues) | Level Air II Bostrom Seating | Parallélogramme sous le siège | Ressort pneumatique suivant l'axe du siège | Cylindre hydraulique parallèle à l'axe du siège, additionné d'un autre amortisseur installé par le conducteur | Coussin dont l'épaisseur est d'environ 90 mm, recouvert de simili cuir | Passable | Mauvais | Par ajustement de la hauteur en variant la pression d'air |
| 79-3265 (10 roues) | Air Chief | Parallélogramme sous le siège | Ressort pneumatique suivant l'axe du siège | Cylindre hydraulique parallèle à l'axe du siège | Coussin sur lequel un recouvrement de tissu a été installé | Excellent | Bon | Valve pneumatique pour ajuster la hauteur |
| 81-3124 (6 roues) | Mécanique (Bostrom) | Système conventionnel en forme de ciseaux | Barre de torsion | Cylindre hydraulique perpendiculaire à l'axe du siège | Coussin très mince sur lequel un petit coussin a été installé, recouvert de simili cuir | Mauvais | Passable | Par utilisation d'un levier |

TABLEAU 18: CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES SIÈGES DONT ÉTAIENT MUNIS LES CAMIONS FAISANT PARTIE DE L'ÉTUDE

| VÉHICULE ET AXE DE MESURE | LAME UTILISÉE | | | | LAME NON UTILISÉE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $a_w$ ($ms^{-2}$) | $f_c$ | Dose * (%) | TR (%) | $a_w$ ($ms^{-2}$) | $f_c$ | Dose * (%) | TR (%) |
| Niveleuse 75-0529 | | | | | | | | |
| . Axe X | - | 4.0 (1.6) | - | - | 0.34 (0.06) | 4.4 (1.1) | 95 (19) [2.5 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.21 (0.03) | 6.0 (0.8) | 25 (11) [1.6 Hz] | - | 0.25 (0.02) | 4.2 (0.1) | 32 (5) [3.2 Hz] | - |
| . Axe Z | 0.42 (0.06) | 4.6 (1.3) | 56 (21) [3.2 Hz] | 74 (25) | 0.87 (0.05) | 3.4 (0.8) | 218 (26) [2.5 Hz] | 83 (28) |
| Niveleuse 80-0524 | | | | | | | | |
| . Axe X | 0.19 (0.04) | 4.5 (0.5) | 28 (11) [3.2 Hz] | - | 0.27 (0.03) | 4.6 (1.1) | 36 (13) [2.5 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.16 (0.02) | 4.5 (0.8) | 25 (5) [3.2 Hz] | - | 0.18 (0.01) | 5.3 (0.9) | 25 (3) [2.0 Hz] | - |
| . Axe Z | 0.42 (0.05) | 4.2 (0.9) | 53 (10) [3.2 Hz] | 86 (19) | 0.51 (0.05) | 5.0 (1.0) | 60 (14) [2.0 Hz] | 88 (15) |
| Niveleuse 79-0500 | | | | | | | | |
| . Axe X | 0.09 (0.02) | 4.9 (0.9) | 25 (8) [3.2 Hz] | - | 0.16 (0.01) | 4.3 (0.7) | 28 (3) [2.5 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.14 (0.04) | 6.2 (1.9) | 25 (8) [1.3 Hz] | - | 0.17 (0.01) | 4.7 (0.8) | 25 (5) [2.5 Hz] | - |
| . Axe Z | 0.32 (0.09) | 4.6 (1.3) | 33 (18) [3.2 Hz] | 94 (51) | 0.52 (0.04) | 3.6 (0.3) | 107 (22) [2.5 Hz] | 78 (12) |

TABLEAU 2: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DES MESURES DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS DANS DES NIVELEUSES SELON LES DIRECTIONS X (LONGITUDINALE), Y (LATÉRALE) ET Z (VERTICALE)

* La dose fut calculée par rapport au niveau de vibrations permis selon la "limite à la capacité réduite par fatigue" pour une durée quotidienne d'exposition de 6 heures.

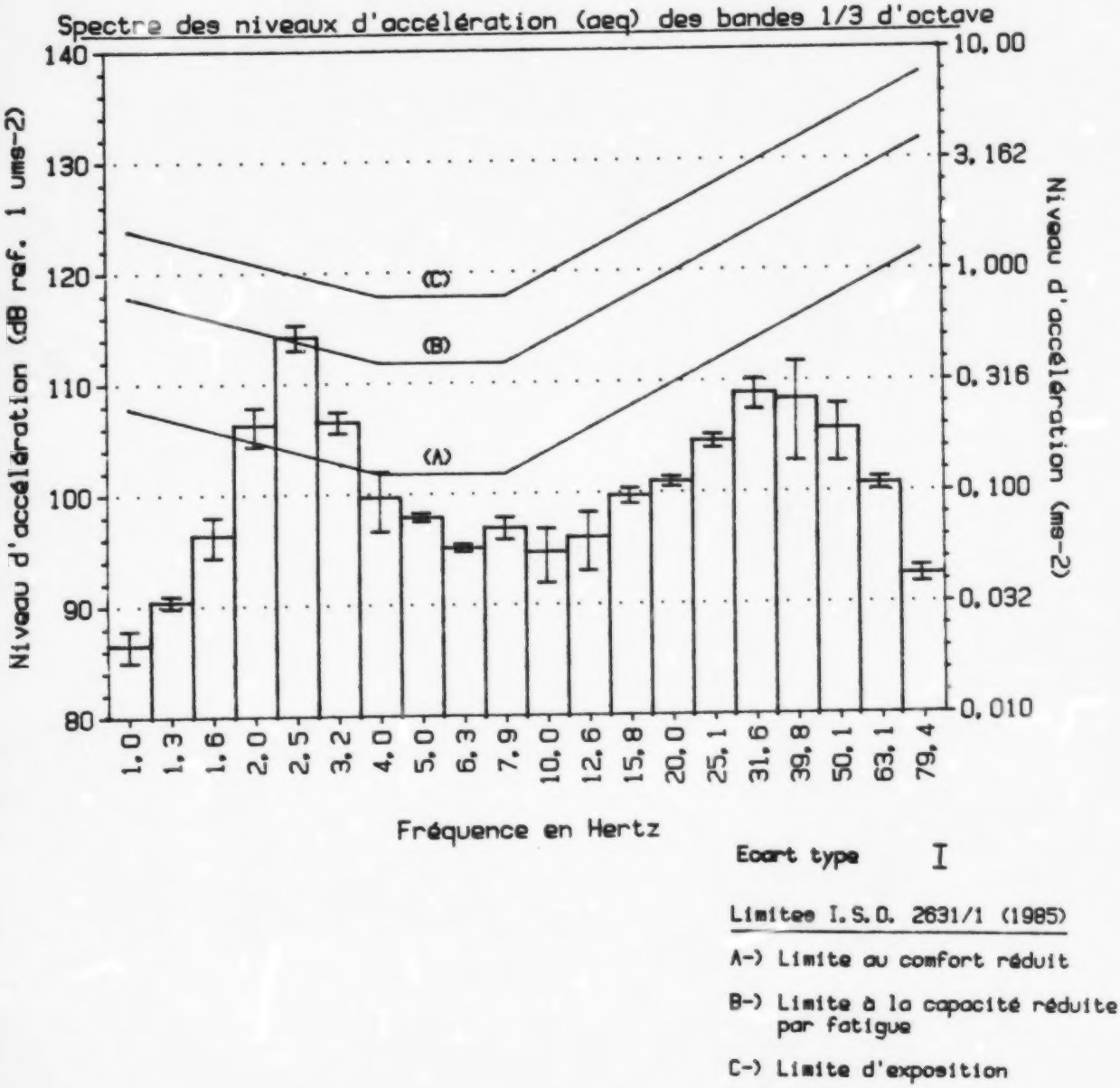



FIGURE 1: SPECTRE EN FRÉQUENCES DES VIBRATIONS VERTICALES (Z) ENREGISTRÉES À L'INTERFACE OPÉRATEUR-SIÈGE SUR UNE NIVELEUSE (79-0500) SE DÉPLAÇANT SANS LAME.

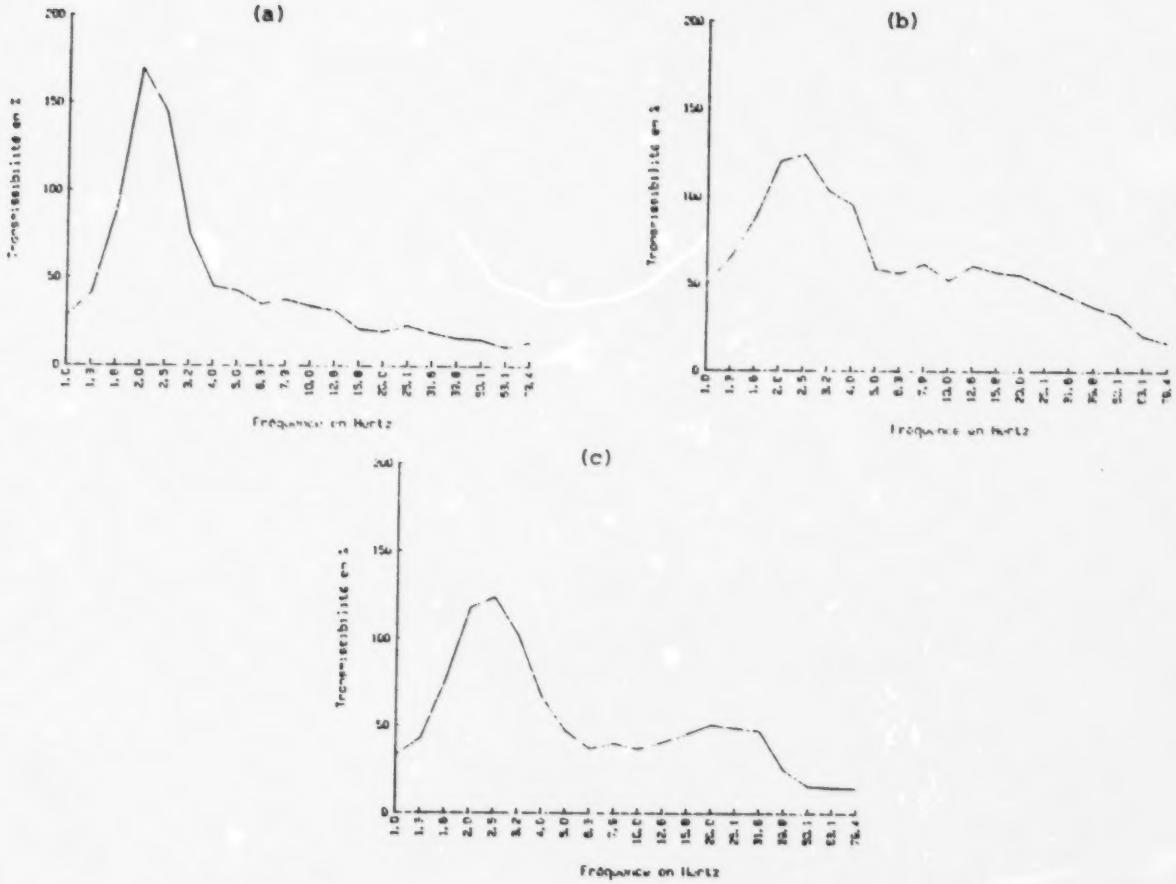



FIGURE 2: COURBES DE TRANSMISSIBILITÉ DES VIBRATIONS VERTICALES EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE POUR LES SIÈGES DES NIVELEUSES (A) 75-0529, (B) 80-0524 ET (C) 79-0500. CONDITIONS D'OPÉRATION: SANS LAME.

| VÉHICULE ET CONDITION DE MESURE | DOSE $_{siege}$ (%) | f (Hz) | DOSE $_{plancher}$ (%) | Fraction$_{siege}$ |
|---|---|---|---|---|
| Niveleuse 75-0529 | | | | |
| . Lame utilisée | 56 | 3.2 | 50 | + 0.11 |
| . Lame non-utilisée | 218 | 2.5 | 126 | + 0.42 |
| Niveleuse 80-0524 | | | | |
| . Lame utilisée | 53 | 3.2 | 31 | + 0.42 |
| . Lame non-utilisée | 60 | 2.0 | 45 | + 0.25 |
| Niveleuse 79-0500 | | | | |
| . Lame utilisée | 33 | 3.2 | 26 | + 0.21 |
| . Lame non-utilisée | 107 | 2.5 | 80 | + 0.25 |

**TABLEAU 3: ESTIMATION DE LA FRACTION DE DOSE D'EXPOSITION ATTRIBUABLE AUX SIÈGES À SUSPENSION VERTICALE INSTALLÉS DANS LES NIVELEUSES**

| VÉHICULE ET AXE DE MESURE | AVEC CHARGEMENT $a_w$ ($ms^{-2}$) | $f_c$ | Dose * (%) | TR (%) | SANS CHARGEMENT $a_w$ ($ms^{-2}$) | $f_c$ | Dose * (%) | TR (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Camion 85-3088 (10 roues) | | | | | | | | |
| . Axe X | 0.65 (0.08) | 5.7 (0.7) | 120 (19) [5.0 Hz] | - | 0.61 (0.04) | 6.0 (0.1) | 122 (22) [2.0 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.53 (0.04) | 6.2 (1.0) | 61 (17) [5.0 Hz] | - | 0.67 (0.05) | 6.8 (0.4) | 123 (48) [2.0 Hz] | - |
| . Axe Z | 1.34 (0.29) | 5.4 (0.9) | 248 (116) [2.0 Hz] | 92 (24) | 1.78 (0.15) | 6.3 (0.1) | 452 (64) [2.0 Hz] | 89 (11) |
| Camion 79-3265 (10 roues) | | | | | | | | |
| . Axe X | 0.40 (0.11) | 6.5 (1.7) | 46 (24) [5.0 Hz] | - | 0.59 (0.09) | 5.4 (1.2) | 171 (56) [2.0 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.38 (0.08) | 5.7 (1.3) | 34 (20) [1.6 Hz] | - | 0.53 (0.10) | 6.2 (1.3) | 92 (42) [1.6 Hz] | - |
| . Axe Z | 0.72 (0.12) | 5.6 (1.1) | 79 (17) [2.0 Hz] | 63 (22) | 0.94 (0.14) | 7.1 (5.7) | 135 (38) [2.0 Hz] | 56 (14) |
| Camion 81-3124 (6 roues) | | | | | | | | |
| . Axe X | 0.55 (0.02) | 4.2 (0.4) | 130 (13) [2.5 Hz] | - | 0.29 (0.13) | 4.9 (1.3) | 111 (80) [2.5 Hz] | - |
| . Axe Y | 0.51 (0.25) | 5.1 (0.9) | 85 (82) [1.0 Hz] | - | 0.36 (0.06) | 5.9 (1.4) | 31 (5) [8.0 Hz] | - |
| . Axe Z | 0.99 (0.12) | 4.5 (0.7) | 140 (6) [2.5 Hz] | 93 (22) | 1.33 (0.22) | 4.7 (0.4) | 180 (93) [2.5 Hz] | 97 (28) |

TABLEAU 4: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DES MESURES DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS DANS DES CAMIONS DE CHANTIER SELON LES DIRECTIONS X (LONGITUDINALE), Y (LATÉRALE) ET Z (VERTICALE)

* La dose fut calculée par rapport au niveau de vibrations permis selon la "limite à la capacité réduite par fatigue" pour une durée quotidienne d'exposition de 6 heures.

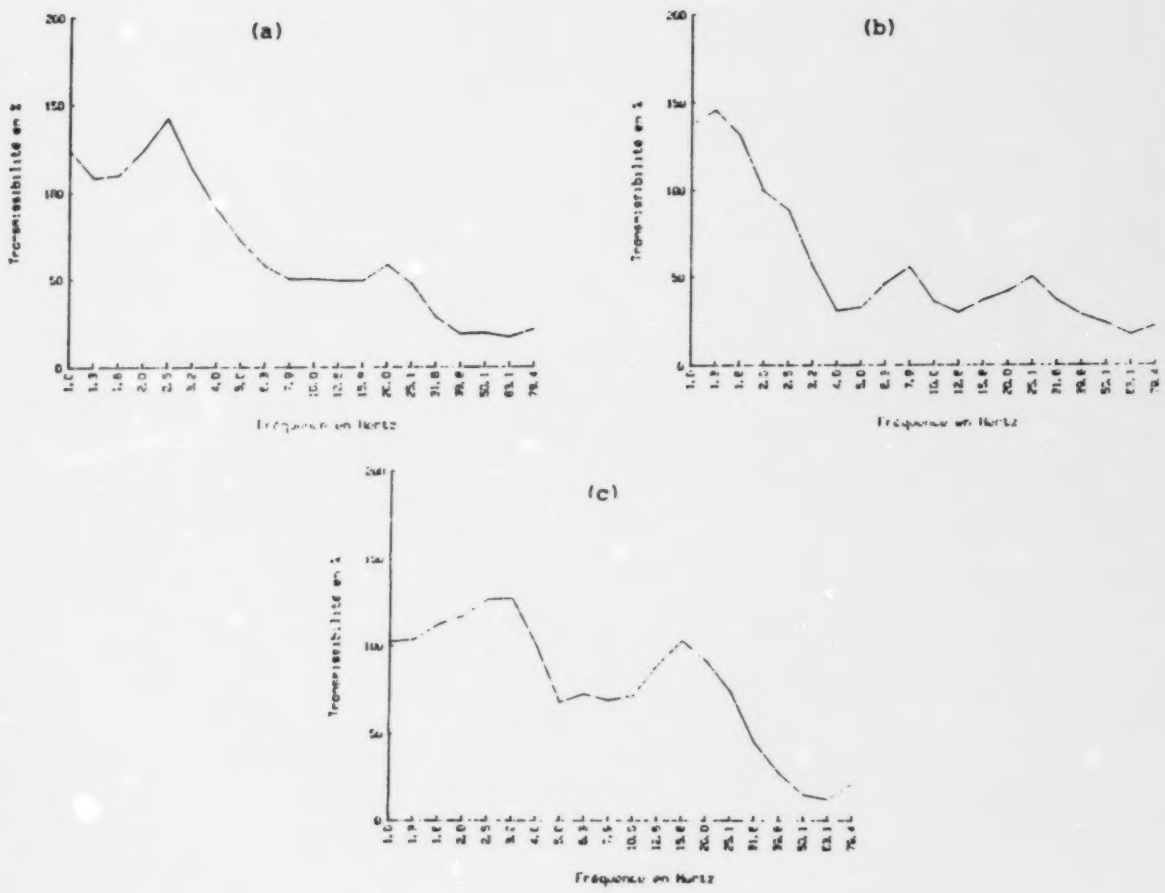



FIGURE 3: COURBES DE TRANSMISSIBILITÉ DES VIBRATIONS VERTICALES EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE POUR LES SIÈGES DES CAMIONS (A) 85-3088, (B) 79-3265 ET (C) 81-3124.
CONDITION D'OPÉRATION: SANS CHARGEMENT

| VÉHICULE ET CONDITION DE MESURE | DOSE $_{siege}$ (%) | f (Hz) | DOSE $_{plancher}$ (%) | Fraction$_{siege}$ |
|---|---|---|---|---|
| Camion 85-3088 (10 roues) | | | | |
| . Avec chargement | 248 | 2.0 | 184 | + 0.26 |
| . Sans chargement | 452 | 2.0 | 303 | + 0.33 |
| Camion 79-3265 (10 roues) | | | | |
| . Avec chargement | 79 | 2.0 | 62 | + 0.22 |
| . Sans chargement | 135 | 2.0 | 135 | 0 |
| Camion 81-3124 (6 roues) | | | | |
| . Avec chargement | 140 | 2.5 | 118 | + 0.16 |
| . Sans chargement | 180 | 2.5 | 132 | + 0.27 |

**TABLEAU 5: ESTIMATION DE LA FRACTION DE DOSE D'EXPOSITION ATTRIBUABLE AUX SIÈGES À SUSPENSION VERTICALE INSTALLÉS DANS LES CAMIONS DE CHANTIER**